



# Revista Médica de Trujillo

Publicación oficial de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Trujillo - Perú

## Artículo Original

### Efecto del ascenso gradual a altitud en la resistencia y recuperación cardiaca (40-2600-4100msnm)

Effect of the gradual ascension to the altitude in resistance and heart recovery (40-2600-4100 masl)

Luz Marina Guerrero-Espino<sup>1</sup>

1. Profesora Principal, Departamento Fisiología –Medicina- Universidad Nacional de Trujillo-Perú Doctora en Ciencias Biomédicas

Correspondencia: Luz Marina Guerrero Espino

Cel: +949594806

Correo: [lguerreroespino61@gmail.com](mailto:lguerreroespino61@gmail.com)

Recibido: 31/07/19

Aceptado: 25/09/19

#### RESUMEN

**Objetivo:** Se pretende evaluar el efecto del ascenso gradual a altitud en la resistencia y recuperación cardiaca, considerando que ambientes extremos como la hipoxia y/o el frío se asocian a reducción del rendimiento cardiovascular evidenciada por la disminución de velocidad y distancias a ejecutar durante la actividad. **Material y Método:** Se realizó un estudio casi experimental, donde la muestra estuvo conformada por 60 jóvenes entre 20-25 años, estudiantes de Ciencias del Deporte, agrupados en: A) Se midió la resistencia cardiovascular a 40 y 4100 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar = msnm (entrenados y no entrenados) y B) Se midió la resistencia cardiovascular a 40, 2600 y 4000 m.s.n.m. (entrenados y no entrenados). Para la evaluación de la resistencia cardiovascular se aplicó el test de Ruffier-Dickson, los resultados fueron analizados mediante el programa SPSS 24. Se tabularon los datos obteniendo medias, desviación estándar y prueba ANOVA, para determinar las diferencias estadísticas. Se cumplieron las normas establecidas por el Tratado de Helsinki, se usó un formato de Consentimiento informado para cada participante. **Resultados:** En el grupo A la resistencia cardiovascular se encontró entre buena y mediana, disminuyendo en relación a nivel del mar un 43% y, en el grupo B, fue baja, con una disminución del 70.9% en relación al nivel del mar. **Conclusiones:** En ambos grupos la resistencia y recuperación cardiovascular fue mejor en los grupos entrenados, pero se observa mejor adaptación cardíaca en el grupo entrenado que asciende directamente (40 a 4100 msnm).

**Palabras clave:** resistencia cardiovascular, altitud (Fuente: DeCS BIREME).

#### SUMMARY

**Objective:** It is intended to evaluate the effect of gradual elevation to altitude in cardiac resistance and recovery, considering that extreme environments such as hypoxia and/or cold are associated with reduced cardiovascular performance evidenced by the decrease in speed and distances to be executed during the activity. **Material and Method:** A quasi-experimental study was carried out, where the sample consisted of 60 young people between 20-25 years old, Sports Science students, grouped in: A) The cardiovascular resistance was measured at 40 and 4000 meters above sea level (trained and untrained) B: The cardiovascular resistance at 40, 2600 and 4000 meters above sea level (masl) (trained and untrained) was measured. For the evaluation of cardiovascular resistance, the Ruffier-Dickson test was applied; the results were analyzed using the SPSS 24 program. The data obtaining averages, standard deviation and ANOVA test, to determine the statistical differences. The rules established by the Helsinki Treaty were fulfilled, so an informed consent form of each participant was used. **Results:** In group A cardiovascular resistance was found between good and medium, decreasing in relation to sea level by 43% and group B was low, with a decrease of 70.9% in relation to sea level. **Conclusions:** In both groups cardiovascular resistance and recovery decreased but there is a better cardiac adaptation when ascending directly (40 to 4000 masl) than when the ascent is gradual (40 to 2600 to 4000 masl).

**Key words:** Cardiovascular resistance, attitude.

## INTRODUCCIÓN

La altitud produce un severo estrés en el organismo humano, estos cambios pueden suceder desde alturas moderadas, 2000 y 3000 msnm; a mayor altitud se produce una disminución proporcional en la presión barométrica y atmosférica del oxígeno lo que genera hipoxia hipobárica que afecta, en diferentes grados, a todos los órganos, sistemas y funciones del organismo; la reducción crónica de la presión parcial de oxígeno hace que los individuos se adapten y se ajusten a este estrés fisiológico. La intensidad de estas adaptaciones depende de factores como el grado de hipoxia relacionado con la altitud, el tiempo de exposición, la intensidad del ejercicio y las condiciones individuales como el grado de entrenamiento del individuo.<sup>1</sup>

La respuesta cardiovascular es la que muestra mayor modificación, hallándose incrementada, la presión arterial se eleva en la primeras horas, la frecuencia cardíaca submáxima o frecuencia cardíaca de esfuerzo, que mide los niveles más altos de demanda de oxígeno ante el ejercicio realizado por el individuo y el gasto cardiaco, puede aumentar un 50% por encima de los valores de nivel del mar, mientras que el volumen sistólico permanece sin cambios, el incremento del flujo sanguíneo en la altura compensa en gran medida la desaturación, estos cambios coinciden con la elevación constante de los niveles plasmáticos y los índices de excreción de epinefrina, por lo que la actividad simpática es la responsable.<sup>1, 2</sup>

Considerando la gran variabilidad de cambios cardiovasculares, evaluarlos nos permitiría explicar y entender estos eventos fisiológicos; existen métodos accesibles, como el Test de Ruffier, para medir la resistencia cardiovascular. Permite definir la capacidad que tiene el corazón y los vasos sanguíneos de proveer oxígeno y nutrientes a los músculos en un esfuerzo físico durante un periodo prolongado de tiempo.<sup>1, 2</sup>

El desarrollo de la resistencia cardiovascular permite aumentar las cargas de trabajo y

retrasar la aparición de la fatiga por acúmulo de productos de desecho como protones, hidrógeno, lactato y calor que se generan del metabolismo aeróbico y limitan el rendimiento. Asimismo, permite un restablecimiento más rápido de ATP y fosfocreatina, esta última como la primera fuente de energía que se utiliza para reconstituir el ATP.<sup>3, 4, 5, 6</sup>

Cuando se realiza actividad física en altura se somete al organismo a dos estresores, la hipoxia y el ejercicio mismo,<sup>1, 9</sup> por lo que los ajustes y la aclimatación a la altitud involucra al sistema nervioso central, endocrino, respiratorio, cardiovascular, a la capacidad de transportar oxígeno y a adaptaciones morfológicas y funcionales del músculo esquelético; la aclimatación es pues el proceso que permite obtener la tensión óptima de oxígeno para suplir las necesidades de tejidos y órganos.<sup>7, 8</sup>

Surge un interrogante: ¿cuál es el momento de exposición adecuado para llegar a ese proceso? Jornet experimentó un nuevo tipo de aclimatación, que denominó aclimatación en hipoxia, que constaba de 2 semanas de adaptación en el Cho Oyu (8.200 m), preparándose para afrontar la cima del mundo: el Monte Everest (8.848m). Y como el mismo lo explicaba: *“en cuatro semanas hemos hecho 2 cumbres de 8.000m así que la aclimatación que hemos hecho parece que funciona. Hemos estado entrenando en hipoxia unas semanas antes y fuimos a aclimatar a los Alpes antes de venir. Este tipo de aclimatación exprés parece funcionar y el cuerpo se fatiga menos y por tanto llegamos más fuertes el día del reto”*.<sup>9</sup>

A partir de estas investigaciones se ha usado extensamente el entrenamiento en altitud para mejorar el rendimiento, con variantes, entrenar en altura para hacer ejercicio a nivel del mar, entrenar a nivel de mar con hipoxia simulada intermitente para conseguir mejor rendimiento en altitud.<sup>10, 11, 12</sup>

Sin embargo se han encontrado diferencias entre estudios, que podrían deberse al diferente nivel inicial de los sujetos, al tiempo de exposición, al grado de hipoxia utilizado y a la

diferente sensibilidad de los sujetos a la hipoxia.<sup>13,14</sup>

Considerando todos estos hechos y que la hipoxia puede resultar contraproducente al ocasionar cambios contrarios a los deseados, especialmente cuando se entrena en altitud y se regresa a nivel del mar, se pretende evaluar el efecto del ascenso gradual a altitud en la resistencia y recuperación cardiaca en individuos entrenados comparando con un grupo no entrenado.

## MÉTODOS:

El estudio es de tipo casi experimental, de corte longitudinal.

El objeto de estudio del presente trabajo estuvo constituido por 60 jóvenes entre 20-25 años que cursan el segundo ciclo de Ciencias del Deporte, agrupados de la siguiente manera:

Se consideró como individuo entrenado, aquellos que al aplicar el Test de Ruffier a 40 msnm presentó un rendimiento bueno a muy bueno.<sup>7</sup> Y se consideró no entrenado, aquel individuo que según el Test IPAQ presentó un nivel de actividad física moderado.<sup>15</sup>

- Grupo A: Ascenso 40-2600-4100msnm (gradual o progresivo).

Grupo Entrenado: Individuos entrenados a los que se midió la resistencia cardiovascular a 40, 2600 y 4100 msnm.

Grupo No entrenado: Individuos no entrenados a los que se midió la resistencia cardiovascular a 40 -2600 -4100 msnm.

- Grupo B: Ascenso 40-4100msnm (directo)

Grupo Entrenado: Individuos entrenados a los que se midió la resistencia cardiovascular a 40 y 4100 msnm.

Grupo No entrenado: Individuos no entrenados a los que se midió la resistencia cardiovascular a 40 y 4100 msnm.

## Procedimiento:

Se seleccionó 2 grupos entrenados y 2 grupos no entrenados.

Se desplazó de la ciudad de Trujillo al Grupo A: a las ciudades de Huamachuco-2600 msnm y Quiruvilca -4100 msnm y al Grupo B: a la ciudad de Quiruvilca -4100msnm.

Se midió la Resistencia Cardiovascular (test de Ruffier) a los grupos A y B en los diferentes niveles de altitud, además de la SaO<sub>2</sub> para verificar la presencia de hipoxemia.

En los grupos en altitud se tomaron los datos después de la primera hora de exposición.

## Test de Ruffier Dickson:

Prueba que mide la resistencia al esfuerzo y la capacidad de recuperación cardiaca ante un ejercicio constante, y que usa como indicador a la frecuencia cardiaca.<sup>17,7</sup>

La técnica consiste en reposo de pie durante cinco minutos, se toma el pulso carotideo durante 15 segundos (luego se multiplica por cuatro para obtener la cifra de un minuto) obteniéndose así un primer dígito; este es P1. Luego, los sujetos tienen que realizar 30 flexiones con las extremidades inferiores en 45 segundos (los talones fijados al suelo) al finalizar se toma la segunda medición durante 15 segundos, este es P2 y, luego de un minuto de terminado el ejercicio, se realiza la tercera medición de frecuencia cardiaca P3.

Se aplica:

$$RCV = (P1 + P2 + P3) - 200/10;$$

Los valores se comparan con la siguiente escala valorativa:

- Inferior a 0: muy buena adaptación al esfuerzo;
- entre 0 e inferior a 5: buena adaptación al esfuerzo;
- entre 5 e inferior a 10: adaptación moderada al esfuerzo;

◦ entre 10 e inferior a 15: adaptación insuficiente al esfuerzo;

◦ Superior a 15: mala adaptación al esfuerzo;

#### Oximetría de pulso:

Fue tomada antes de iniciar la Prueba de Ruffier, utilizando el Pulsioxímetro, en todos los grupos, con el objetivo de comprobar la hipoxemia.

#### Análisis Estadístico:

Los resultados fueron analizados mediante el programa SPSS Statics 24. Se utilizaron cinco pruebas estadísticas en el presente estudio. Las dos primeras pruebas ANOVA, se utilizaron para confirmar que los grupos, previo a la intervención, fueran homogéneos. Para verificar la homogeneidad en lo referente a la variable RCV se aplicó la prueba estadística Chi cuadrado de homogeneidad, con el fin de aumentar la validez interna.

Luego se aplicó la prueba estadística Chi cuadrado de homogeneidad para determinar si el entrenamiento (entrenado y no entrenado)

### RESULTADOS:

#### Tabla No 1

**Promedios de resistencia cardiovascular (Ruffier) en ascenso gradual (40- 2600-4100msnm) y ascenso brusco (40-4100msnm) en jóvenes entrenados y no entrenados**

		40msnm		3 200msnm		4 100msnm	
Grupo A	NE	12.8	Insuficiente	17.2	Mala	15.9	Insuficiente
	E	6.6	Buena	17.3	Mala	13.7*	Insuficiente
		40msnm		3 200msnm		4 100msnm	
Grupo B	NE	10	Moderada			13.5	Insuficiente
	E	5.7	Buena			9.9*	Moderada

**Grupo A: Ascenso 40-2600-4100msnm NE: No entrenados E: Entrenados**

**Grupo B: Ascenso 40-4100msnm**

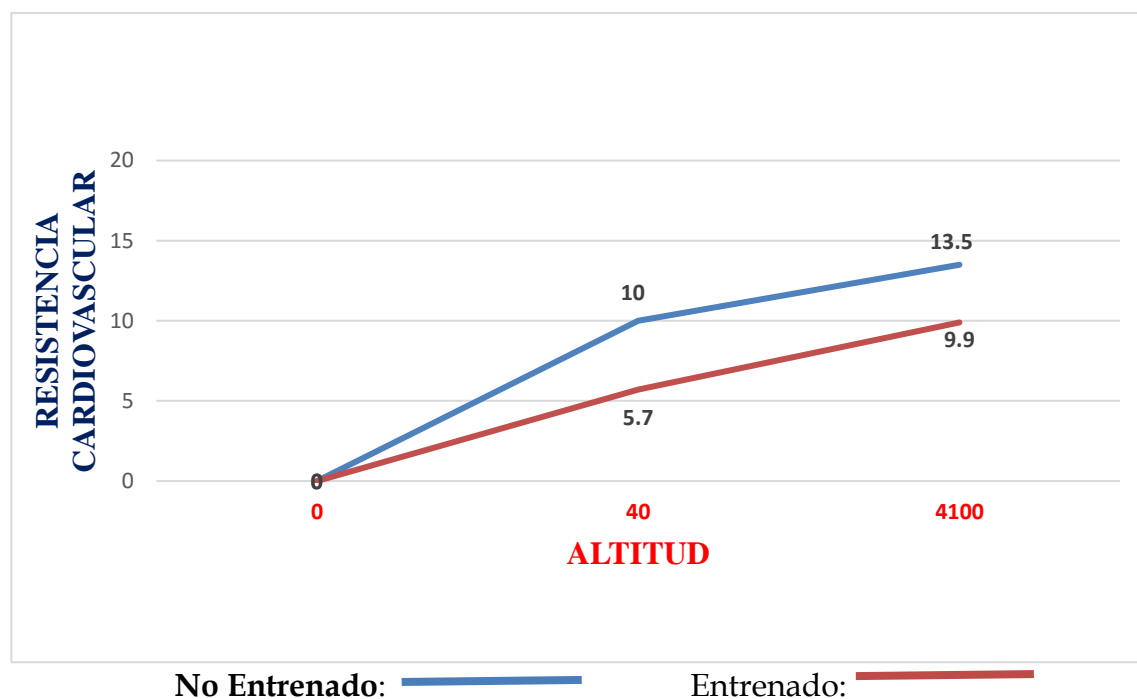
\*  $p < 0.01$

influyó significativamente en la RCV de los participantes. Posteriormente se aplicó la prueba estadística de Homogeneidad Marginal para determinar si la altitud (2,600-4100 m.s.n.m.) influyó significativamente en la RCV. Esta prueba determinó si la variación de la RCV posterior a la exposición aguda a altitud (4100msnm) es significativa en un mismo grupo. Finalmente, se aplicó la prueba estadística Chi cuadrado de homogeneidad para determinar si el ascenso brusco o gradual influyó significativamente en la RCV del grupo entrenado.

#### Ética:

Se cumplió con los criterios éticos establecidos por la Declaración de Helsinki promulgados por la Asociación Médica Mundial (AMM), con (según) lo cual se asegurará y promoverá el respeto a todos los seres humanos protegiendo su salud y sus derechos individuales. Así mismo, enmarcadas en los Reglamentos de Ética en Investigación de la Universidad Nacional de Trujillo y aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Trujillo.

Gráfico No 1 Efecto de la altitud (40-4100msnm) en la resistencia cardiovascular - Grupo B



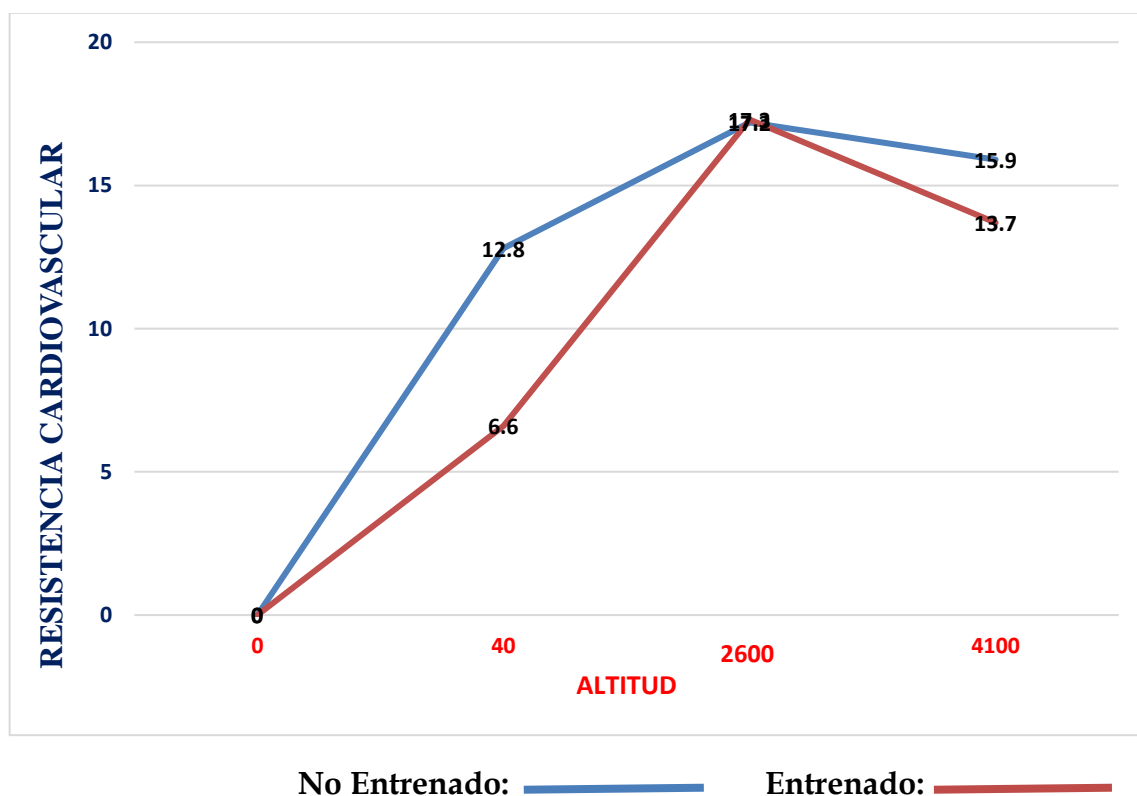
SaO<sub>2</sub> 98% (40msnm)

86% (4100msnm)

Chi cuadrado  $p < 0.001$

Prueba de homogeneidad marginal altitud y RCV  $p 0.003$

**Gráfico No 2** Efecto del ascenso gradual altitud (40-2600-4100msnm) en la resistencia cardiovascular- Grupo A



SaO<sub>2</sub> 98% (40msnm)

90% (2600msnm)

82% (4100msnm)

Chi cuadrado  $p < 0.001$

Prueba de homogeneidad marginal altitud y RCV  $p < 0.003$



## DISCUSION

En la Tabla 1 y Gráfico 1 se muestran en el Grupo B (40-4100 msnm) que en los individuos entrenados disminuyó la RCV a nivel moderado (9.9) y en los individuos no entrenados a nivel insuficiente (13.5) con  $p < 0,05$  estadísticamente significativo.

En Gráfico 2 se muestra en el Grupo A (40-2600-4100msnm) el mismo comportamiento, pero la RCV disminuyó más (15.9) en no entrenados que en entrenados (13.7) llegando en ambos casos a niveles insuficientes con  $p < 0.05$  estadísticamente significativo.

En todas las observaciones, Grupo A y B, los resultados muestran que al comparar los grupos entrenados y no entrenados, a pesar que la RCV disminuyó al ascender a altitud, los entrenados presentaron un mejor rendimiento a comparación de los no entrenados, con niveles estadísticos significativos. Los fisiólogos sustentan (atribuyen) estos hechos a las adaptaciones funcionales y estructurales que presenta el corazón del individuo entrenado: una masa moderadamente incrementada a la par de la dilatación de sus cavidades ventriculares en términos relativos, frente a las exigencias del medio ambiente (hipoxia).<sup>11,14</sup>

Además, Vargas Pinilla alegó que el entrenamiento a nivel del mar es más efectivo que en altura porque permite mantener la misma intensidad absoluta de Hb durante más tiempo y el tiempo de recuperación es mayor, esto podría deberse principalmente a una disminución del volumen plasmático, que conlleva a un aumento de Hb inicial, siendo un mecanismo muy eficaz para aumentar rápidamente el contenido de oxígeno de la sangre ante la hipoxia a la que es expuesta el grupo entrenado en altitud de ascenso directo (grupo A), en las primeras horas que fueron evaluados en el presente trabajo.<sup>15,19</sup>

Con la exposición aguda a la hipoxia hipobárica se producen algunos cambios cardiovasculares, la frecuencia cardiaca y el gasto cardíaco aumentan tanto en reposo como en ejercicio

submáximo (intensidad de ejercicio que requiere menos del consumo total de  $O_2$ , antes de alcanzar el nivel anaeróbico) y disminuyen en ejercicio máximo. En cambio, el volumen expulsivo habitualmente disminuye a todas las intensidades de ejercicio a consecuencia de la disminución del volumen plasmático, esto afecta la capacidad de realizar ejercicios prolongados de alta intensidad durante la exposición aguda a la altitud.<sup>19</sup>

Estos cambios temporales, son benéficos en las primeras horas de exposición, en nuestro caso primera hora, y fundamentarían fisiológicamente este mejor rendimiento encontrado en nuestra investigación.

Por otro lado, Córdoba y Martínez-Villé, refieren que la respuesta inmediata a la hipoxia con hiperventilación y aumento de la frecuencia cardiaca, origina aumento del flujo sanguíneo como un intento de evitar repercusiones en la oxigenación muscular, manteniendo constante la cantidad total de oxígeno, por lo menos temporalmente.<sup>20</sup>

Sugerimos a partir de nuestros hallazgos, seguir investigando como el tiempo de exposición gradual influye en el rendimiento físico.

## CONCLUSIONES

En ambos grupos la resistencia y recuperación cardiovascular fue mejor en los grupos entrenados, pero se observa mejor adaptación cardiaca en el mismo grupo entrenado cuando se asciende directamente (40 a 4100 msnm) que cuando el ascenso es gradual (40 a 2600 a 4000msnm).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Plowman S, Smith D. Exercise physiology for health, fitness, and performance. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 2014.p.382.
2. Rodríguez F. Prescripción de ejercicio para la salud: Resistencia Cardiorrespiratoria. Educ Fis Esport 1995;17(4):87-102.

3. Greenberg J, Dintiman G, Oakes B. Physical Fitness and Wellness: Changing the Way You Look, Feel, and Perform Champaign: Human Kinetics; Chapter 5, cardiorespiratory fitness; 2004. p. 105-34.
4. Rogatzki M, Ferguson L. Lactate is always the product of glycolysis. *Frontiers in Neuroscience* 2015;22(9):1-7.
5. Hall J, Guyton A. Tratado de Fisiología Médica .13th edición. Philadelphia: Elsevier. 2017. p. 227
6. Camacho A. Una Alternativa Específica de Trabajo en Hipoxia Orientada a Esfuerzos Intermitentes: Entrenamiento Interválico de Máxima Intensidad En Hipoxia (EIMIH). *Journal Kronos* 2016;15.
7. Monge F. Efectos de un programa de entrenamiento interválico de máxima intensidad en hipoxia (EIMIH) sobre el rendimiento y el metabolismo aeróbico [Tesis de maestría]. [España]: Universidad de Extremadura; 2014. p. 41.
8. Camacho A, Camacho M. Una alternativa específica de trabajo en hipoxia orientada a esfuerzos intermitentes: Entrenamiento interválico de máxima intensidad en hipoxia (EIMIH). *Kronos* 2016;1(15).
9. Jornet K. <https://www.biolaster.com/blogs/hipoxia/2017/05/26/aclimatacion-hipoxia-kilian-jornet/> Aclimatación en hipoxia de Kilian Jornet 26-05-2017 | comunicación. Aclimatación en hipoxia de Kilian Jornet.
10. Martínez Hernández L, Pegueros Pérez A, Chánez Cárdenas M., Hernández Pérez A. Expresión del factor inducible por hipoxia durante programa de ejercicio de alta intensidad. *Revista Mexicana De Investigación En Cultura Física Y Deporte* 2016;5(7);189-98.
11. Rodas G, Parra Sitjá J, Arteman J, Viscor G, Sitjá, J, Arteman J. Efecto de un programa combinado de entrenamiento físico e hipoxia hipobárica intermitente en la mejora del rendimiento físico de triatletas de alto nivel. *Apunts Med Esport* 2004;39(144);5-10.
12. Ramos D, Martínez F, Rubio J. Efectos hematológicos inducidos por los programas de hipoxia intermitente. *Cultura, Ciencia Y Deporte* 2013;8,199-206.
13. Porcari J, Probst L, Forrester K. Effect of Wearing the Elevation Training Mask on Aerobic Capacity, Lung Function, and Hematological Variables. *Medicine & Science In Sports & Exercise* 2016;2(15),379-386.
14. Mora R. Efectos de la hipoxia sobre la actividad física y el rendimiento deportivo. *Efdeportes.Com, Revista Digital*. Buenos Aires 2011;16(161).
15. Guidelines for the data processing and analysis of the "International Physical Activity Questionnaire". 2009. Disponible en: <http://www.ipaq.ki.se/scoring.htm> [Consultado el 10 de enero de 2018].
16. Rodríguez PL, García E, Pérez J, Guillamón A. Nivel de actividad física, consumo de tabaco y eficiencia cardiovascular. *Salud(i)cienza (En línea)* 2015;21(3):256-61.
17. Suazo-Fernández R, Valdivia Fernández-Dávila F. Actividad física, condición física y factores de riesgo cardio-metabólicos en adultos jóvenes de 18 a 29 años. *An Fac med.* 2017;78(2):145-149.
18. Vargas Pinilla O. Exercise and Training at Altitudes: Physiological Effects and Protocols. *Ciencias De La Salud* 2014;12(1),115-130.
19. Opondo M, Sarma S, Levine B. The Cardiovascular Physiology of Sports and Exercise. *Clinics in Sports Medicine* 2015;34(3):391-404.
20. Córdoba A, Martínez-Villé G. Fisiología de la adaptación a la altitud. Editorial Gymnos. 2001.

Citar como: Guerrero-Espino LM. Efecto del ascenso gradual a altitud en la resistencia y recuperación cardiaca (40-2600-4100msnm). *Rev méd Trujillo* 2019;14(4):173-80